

K. P. SOŁEK\* , R. M. KUZIĄK\*\* , M. KARBOWNICZEK\*

## THE APPLICATION OF THERMODYNAMIC CALCULATIONS FOR THE SEMI-SOLID PROCESSING DESIGN <sup>1)</sup>

### ZASTOSOWANIE OBLICZEŃ TERMODYNAMICZNYCH DO PROJEKTOWANIA PROCESÓW FORMOWANIA W STANIE STAŁO-CIEKŁYM

Semi-solid metal processing is now a commercially successful manufacturing route producing lots of near net-shape parts. One member of such processing technologies is thixoforming which is based on the special behaviour of alloys with non-dendritic microstructure in the partially liquid state. The semi-solid processing design requires the use of faithful values of thermodynamic material properties. Thermodynamic modelling is a potential tool for predicting alloy compositions suitable for thixoforming. Thixoformable alloys must have a wide melting range with some additional feature. Namely, the slope of the curve of the liquid fraction versus the temperature should be low at the liquid fraction value of 40%. The data from thermodynamic calculations might be also applied in the industrial thixoforming processes design. It is very helpful to find different thermal properties of alloys in order to simulate precisely the temperature distribution inside the formed materials. The thermodynamic calculations allow one to find the heat transfer coefficient, the specific heat value and the latent heat value. The purpose of the present paper is to provide examples of the numerical modelling of the thermodynamic properties for commercial, industrial Al alloys. All the calculations in the present work are performed using JMatPro software. The determination of the phase composition for multi-component alloys is originally based on the Gibbs energy minimisation. Furthermore, the conditions of the non-equilibrium solidification are determined using the Scheil-Gulliver equation. An additional advantage of the software used is the possibility of calculation of the formation conditions for metastable phases which have also an influence on the mechanical properties of the alloys.

*Keywords:* computer simulation, thermodynamic calculations, aluminium alloys, phase change, thixoforming, rheology

Procesy przetwórstwa metali w stanie stało-ciekłym są nową, sprawdzoną komercyjnie, metodą precyzyjnego kształtowania dużej ilości elementów. Przykładem takiej technologii jest formowanie tiksotropowe, właściwością którego jest specyficzne zachowanie formowanych stopów posiadających niedendrytyczną mikrostrukturę w częściowo ciekłym stanie. Projektowanie procesów formowania w stanie stało-ciekłym wymaga użycia prawidłowych wartości własności termodynamicznych materiałów. Modelowanie termodynamiczne jest potencjalnym narzędziem opracowania składu chemicznego stopów odpowiednich dla formowania tiksotropowego. Tiksoformowalne stopy muszą posiadać szeroki zakres temperatur krzepnięcia. Ponadto, nachylenie krzywej ułamka fazy ciekłej w zależności od temperatury powinno być jak najmniejsze dla wartości 40% tego ułamka. Wyniki obliczeń termodynamicznych mogą mieć również zastosowanie w trakcie projektowania przemysłowych procesów formowania tiksotropowego. W szczególności symulacje rozkładu temperatury wewnątrz formowanego materiału wymagają znajomości wartości jego właściwości termo-fizycznych. Obliczenia termodynamiczne pozwalają, między innymi, wyznaczyć współczynnik wymiany ciepła, ciepło właściwe czy ciepło przemiany fazowej. Celem tej pracy jest przedstawienie przykładów zastosowania modelowania numerycznego własności termodynamicznych przemysłowych stopów aluminium. Wszystkie obliczenia zostały wykonane z wykorzystaniem oprogramowania JMatPro. Wyznaczenie składu fazowego dla wieloskładnikowych stopów zostało oparte na minimalizacji energii Gibbs'a. Ułamek fazy ciekłej w warunkach nierównowagowego krzepnięcia został wyznaczony w oparciu o równanie Scheil-Gulliver'a. Dodatkową zaletą wykorzystanego oprogramowania jest możliwość przewidywania warunków powstawania metastabilnych faz, które mają wpływ na właściwości mechaniczne stopów.

\* FACULTY OF METALS ENGINEERING AND INDUSTRIAL COMPUTER SCIENCE, AGH UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY, 30-059 KRAKÓW, AL. MICKIEWICZA 30, POLAND

\*\* INSTITUTE FOR FERROUS METALLURGY, 44-101 GLIWICE, 12. KAROLA MIARKI STR., POLAND

<sup>1)</sup> Paper has been presented during Symposium I "Phase Diagrams; Phase Stability; Theory and Applications" at the E-MRS Fall Meeting, Warsaw, 4-8 September 2006.